不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢的影响

康　乐　穆雅东　张克英　王建萍　白世平　曾秋凤　彭焕伟　宿卓薇　玄　玥　丁雪梅*

（四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，成都 611130）

摘　要：本试验旨在研究不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢的影响。采用 3×3 因子设计，即 3 个钙水平（3.0%、3.5%和 4.0%）和 3 个维生素 D_3 添加水平（0、2 500 和 5 000 IU/kg）。选取 60 周龄罗曼粉壳蛋鸡 810 只，随机分为 9 个组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。试验采用玉米－豆粕型饲粮，试验预试期 1 周，正试期 6 周。结果表明：1）与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组蛋鸡平均日采食量和产蛋率极显著升高（$P<0.01$），料蛋比、破蛋率和软壳蛋率极显著降低（$P<0.01$）。随着饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平的不断提高，鸡蛋的平均蛋重增加，脏蛋率减少，但差异不显著（$P>0.05$）。2）与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组蛋壳强度、蛋壳重和蛋壳比重极显著升高（$P<0.01$），蛋壳厚度显著提高（$P<0.05$），蛋黄重显著降低（$P<0.05$）。随着饲粮钙水平的升高，蛋壳强度呈现升高的趋势，但未达到显著水平（$P>0.05$）。3）不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡胫骨强度有极显著影响（$P<0.01$）；与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组胫骨强度极显著升高（$P<0.01$）；随着饲粮钙水平的升高，胫骨钙含量有升高的趋势，但差异不显著（$P>0.05$），而饲粮钙水平为 4.0%时，胫骨强度显著高于饲粮钙水平为 3.0%和 3.5%时（$P<0.05$）。4）与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组蛋鸡血浆碱性磷酸酶活性极显著降低（$P<0.01$），血浆钙和磷含量极显著升高（$P<0.01$）；随着饲粮钙水平的升高，血浆钙和磷含量没有显著变化（$P>0.05$），与 3.0%钙组相比，4.0%钙组血浆碱性磷酸酶显著降低（$P<0.05$）。结果显示，产蛋后期适当提高饲粮钙水平有利于蛋鸡生产性能，但维生素 D_3 缺乏会降低生产性能，甚至引起停产；

收稿日期：2018－03－13

基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFD0501202）

作者简介：康　乐（1991—），男，四川资阳人，硕士研究生，研究方向为家禽营养。E-mail: kangle1020@163.com

*通信作者：丁雪梅，副教授，硕士生导师，E-mail： dingxuemei0306@163.com

饲粮添加 2 500 IU/kg 维生素 D_3 既能满足产蛋后期蛋鸡对维生素 D_3 的需求，同时又不造成资源的浪费，节约成本。

关键词：维生素 D_3；钙水平；蛋鸡；生产性能；蛋品质；胫骨质量；血浆钙磷

中国分类号：S831.5　　文献标识码：　　文章编号：

许多非营养因素和营养因素都影响着产蛋鸡的生产性能，而营养因素当中的钙和维生素 D_3 对蛋鸡产蛋性能有着至关重要的作用。钙作为蛋壳形成的必须原材料，而维生素 D_3 作为必须辅助因子来促进机体对钙的吸收。针对蛋鸡饲粮中钙水平的研究，基本确定最适添加量为 3%～4%，但把钙和维生素 D_3 二者结合起来的研究却鲜有报道。因此，本试验从饲粮不同钙和维生素 D_3 水平出发，结合生产实际来研究不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢的影响，为蛋鸡生产中合理使用钙和维生素 D_3 提供试验依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验采取 3×3 因子设计，分为 3 个钙水平（3.0%、3.5%和 4.0%）和 3 个维生素 D_3 添加水平（0、2 500 和 5 000 IU/kg），共 9 个组。

1.2　试验动物与基础饲粮

试验选用 810 只 60 周龄健康的罗曼粉壳蛋鸡，随机分为 9 组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。基础饲粮参考 NRC（1994）[1]和我国《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）[2]，并结合生产实际来配制，其组成及营养水平见表 1，饲粮形态为粉料。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	饲粮钙水平 Dietary calcium level/%		
	3.0	3.5	4.0
原料 Ingredients			
玉米 Corn	61.260	61.260	61.260
豆粕 Soybean meal	24.350	24.350	24.350
麦麸 Wheat bran	1.150	1.150	1.150
豆油 Soybean oil	0.970	0.970	0.970
石粉 Limestone	2.340	2.780	3.220

碳酸钙 $CaCO_3$	4.680	5.560	6.440
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.200	1.200	1.200
食盐 NaCl	0.400	0.400	0.400
微量元素预混料 Mineral premix[1)]	0.500	0.500	0.500
维生素预混料 Vitamin premix[2)]	0.030	0.030	0.030
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.152	0.152	0.152
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl	0.032	0.032	0.032
苏氨酸 Thr	0.031	0.031	0.031
氯化胆碱 Choline chloride	0.100	0.100	0.100
统糠 Chaff	2.805	1.485	0.165
合计 Total	100.000	100.000	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.09	11.09	11.09
粗蛋白质 CP	15.50	15.50	15.50
钙 Ca	3.00	3.51	4.01
有效磷 AP	0.32	0.32	0.32
赖氨酸 Lys	0.75	0.75	0.75
蛋氨酸 Met	0.37	0.37	0.37
苏氨酸 Thr	0.55	0.55	0.55
色氨酸 Trp	0.16	0.16	0.16

[1)] 微量元素预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diets:Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Mn (as manganese) 60 mg，Zn (as zinc sulfate) 80 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg，I (as potassium iodide) 0.35 mg。

[2)]维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets:VA 8 000 IU，VE 5 IU，VB_1 0.8 mg，VB_2 2.5 mg，VB_6 1.5 mg，VB_{12} 0.004 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 2.2 mg，叶酸 folic acid 0.25 mg，烟酸 nicotinic acid 20 mg，生物素 biotin 0.1 mg。

[3)] 营养水平均为计算值。The nutrient levels were all calculated values.

1.3 饲养管理

试验在四川农业大学动物营养所试验场进行。所有试验蛋鸡均采用 3 层阶梯式笼养，每笼 3 只鸡，连续的 5 笼为 1 个重复，每个组的 6 个重复均匀分布在鸡舍内，并且每个重复的鸡都均匀分布在上、中、下 3 层。试验为期 7 周，其中第 1 周为预试期，正试期 6 周。在预试期开始时，记录各重复的产蛋数，并根据统计结果进行适当调整，使得各组在预试期间产蛋率差异不显著（P>0.05）。自由采食，每天喂食 2 次（09:00 和 14:00），自由饮水，自然通风，光照采用 16 h。每日观察鸡只的精神状态、有无异常行为以及食欲和排粪情况等。定期打扫圈舍卫生，参照常规免疫程序接种鸡群。

1.4　指标测定与方法

1.4.1　蛋鸡生产性能

每天以重复为单位记录死亡蛋鸡数、喂料量、产蛋数、破壳蛋数、脏蛋数、软壳蛋数和蛋重，以周为单位计算蛋鸡平均日采食量、平均蛋重、料蛋比、产蛋率、脏蛋率、破蛋率和软壳蛋率。

1.4.2　蛋品质

试验第 6 周每个重复选取 3 枚接近平均蛋重的鸡蛋（n=18），用四川农业大学购进的日本 Robotmation 蛋品质分析仪 EMT–5200 对蛋白高度、蛋壳强度、蛋黄颜色和哈夫单位进行测定，蛋壳厚度用千分尺测量，蛋壳重和蛋黄重准确称量。

1.4.3　胫骨质量

取蛋鸡完整左胫骨，采用三点弯曲法，用 TAXT-Plus 质构仪（Stable Micro Systems Corp，英国）测定胫骨强度，单位用 kgf 表示；将蛋鸡的右腿割下，分离得到完整的胫骨，乙醚脱脂 8 h，在 105 ℃烘箱内烘至恒重，550 ℃灰化后，测定钙和磷含量。

1.4.4　血浆钙磷代谢

在试验第 6 周结束时每个重复随机挑选 1 只健康的产蛋鸡称重后，翅静脉采血，静置后 3 000 r/min 离心 10 min 分离血浆，－20 ℃保存待测，于四川农业大学动物营养研究所测定血浆钙和磷含量以及碱性磷酸酶（alkaline phosphatase，ALP）活性。

1.5　数据统计分析

试验数据采用 SPSS 21.0 的一般线性模型（GLM）进行双因子方差分析，模型的主效应包括饲粮钙水平、维生素 D_3 添加水平以及两者之间的互作效应，并用 Duncan 氏法进行多重比较检验，结果以平均值和标准误表示，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2　结果与分析

2.1　不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡平均蛋重和脏蛋率无显著影响（$P>0.05$），对平均日采食量、料蛋比、产蛋率、破蛋率和软壳蛋率有极显著的影响（$P<0.01$）。随着饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平的不断提高，鸡蛋的平均蛋重在增加，脏蛋率在降低，但均未能达到显著水平（$P>0.05$）。与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组蛋鸡平均日采食量和产蛋率极显著升高（$P<0.01$），料蛋比、破蛋率和软壳蛋率极显著降低（$P<0.01$）。饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平对蛋鸡平均日采食量、平均蛋重、料蛋比、产蛋率、脏蛋率、破蛋率和软壳蛋率无显著互作效应（$P>0.05$）。

表 2　不同钙水平饲粮添加维生素 D3 对蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D3 on performance of laying hens

钙水平 Calcium levels/%	维生素 D3 添加水平 Vitamin D3 supplemental levels/（IU/kg）	平均日采食量 ADFI/g	平均蛋重 AEW/g	料蛋比 F/E	产蛋率 Laying rate/%	脏蛋率 Dirty egg rate/%	破蛋率 Broken egg rate/%	软壳蛋率 Soft shell egg rate/%
3.0	0	100.29[b]	62.71	5.20[c]	51.48[a]	0.17	3.32[b]	7.85[b]
	2 500	108.78[c]	62.95	2.11[a]	82.37[b]	0.17	0.42[a]	0.23[a]
	5 000	110.09[c]	63.10	2.13[a]	81.91[b]	0.11	0.39[a]	0.45[a]
3.5	0	93.65[a]	62.39	4.27[b]	50.96[a]	0.10	3.49[b]	8.11[b]
	2 500	110.06[c]	63.07	2.13[a]	82.30[b]	0.07	0.39[a]	0.17[a]
	5 000	110.75[c]	63.57	2.15[a]	81.32[b]	0.10	0.68[a]	0.62[a]
4.0	0	99.96[b]	63.04	3.75[b]	55.49[a]	0.06	3.50[b]	6.72[b]
	2 500	110.75[c]	63.79	2.11[a]	82.38[b]	0.04	0.64[a]	0.26[a]
	5 000	110.96[c]	63.34	2.14[a]	82.06[b]	0.03	0.57[a]	0.50[a]
SEM		0.92	0.13	0.18	2.01	0.21	0.29	0.59
P 值 *P*-value		<0.01	0.326	<0.01	<0.01	0.801	<0.01	<0.01
钙水平 Calcium	3.0	106.38	62.92	3.15	71.92	0.15	1.38	2.84

levels/%	3.5	104.82	63.01	2.85	71.53	0.09	1.52	2.97
	4.0	107.23	63.39	2.67	73.31	0.04	1.57	2.49
维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	0	97.97[a]	62.71	4.41[b]	52.64[a]	0.11	3.44[b]	7.56[b]
	2 500	109.86[b]	63.27	2.11[a]	82.35[b]	0.09	0.48[a]	0.22[a]
	5 000	110.60[b]	63.34	2.14[a]	81.76[b]	0.08	0.55[a]	0.53[a]
P 值 *P*-value	钙 Ca	0.071	0.303	0.95	0.543	0.179	0.939	0.877
	维生素 D_3 Vitamin D_3	<0.01	0.109	<0.01	<0.01	0.847	<0.01	<0.01
	钙×维生素 D_3 Ca×vitamin D_3	0.170	0.664	0.150	0.786	0.962	0.999	0.968

同列数据肩注相同小写字母或无字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

In the same column, values with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference （$P>0.05$）, while with different small letter superscripts mean significant difference （$P<0.05$）. The same as below.

2.2　不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可知，饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平互作效应对蛋壳强度、蛋黄颜色、蛋壳重、蛋白高度、蛋黄重、蛋壳厚度、哈夫单位和蛋壳比重无显著影响（$P>0.05$）。不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对鸡蛋的蛋壳强度、蛋黄颜色、蛋白高度、蛋壳厚度和哈夫单位无显著影响（$P>0.05$），对蛋壳重、蛋黄重和蛋壳比重有显著的影响（$P<0.05$）。从维生素 D_3 添加水平来看，与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组蛋壳强度、蛋壳重和蛋壳比重极显著升高（$P<0.01$），蛋壳厚度显著提高（$P<0.05$），蛋黄重显著降低（$P<0.05$）。从饲粮钙水平来看，随着饲粮钙水平的升高，蛋壳强度呈现升高的趋势，但未达到显著水平（$P>0.05$）。

表 3　不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡蛋品质的影响

Table 3　Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D_3 on egg quality of laying hens

钙水平 Calcium levels/%	维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	蛋壳强度 Eggshell strength/(kg/cm²)	蛋黄颜色 Yolk color	蛋壳重 Eggshell weight/g	蛋白高度 Albumen height/mm	蛋黄重 Yolk weight/g	蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	哈夫单位 Haugh unit	蛋壳比重 Eggshell proportion/%
3.0	0	2.81	6.86	5.34[b]	6.83	17.40[bc]	0.21	82.15	8.80[bc]
	2 500	3.71	7.36	6.38[a]	6.89	17.33[c]	0.26	81.56	9.88[a]
	5 000	3.72	7.11	6.41[a]	6.88	17.75[abc]	0.27	81.28	9.86[a]
3.5	0	3.27	7.00	5.14[b]	6.37	18.57[a]	0.22	78.53	8.23[c]
	2 500	3.61	6.61	6.09[a]	6.93	17.46[bc]	0.27	82.07	9.58[ab]
	5 000	3.57	7.33	6.21[a]	6.85	17.93[abc]	0.25	81.53	9.72[a]
4.0	0	3.25	7.17	5.99[a]	6.84	18.48[ab]	0.24	81.68	9.54[b]
	2 500	3.57	7.00	6.41[a]	6.86	17.77[abc]	0.27	81.66	10.07[a]
	5 000	3.98	6.78	6.44[a]	6.56	16.91[c]	0.28	79.66	10.23[a]
SEM		0.63	0.57	0.66	0.48	0.92	0.06	3.12	0.89

P 值 *P*-value		0.061	0.341	<0.01	0.517	0.026	0.431	0.525	<0.01
钙水平 Calcium levels/%	3.0	3.41	7.11	6.05^{ab}	6.87	17.49	0.24	81.66	9.51^{ab}
	3.5	3.49	6.98	5.81^{b}	6.72	17.98	0.24	80.71	9.17^{b}
	4.0	3.60	6.98	6.28^{a}	6.75	17.72	0.26	81.00	9.95^{a}
维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	0	3.11^{b}	7.01	5.49^{b}	6.68	18.14^{a}	0.22^{b}	80.79	8.85^{b}
	2 500	3.63^{a}	6.99	6.29^{a}	6.89	17.52^{b}	0.26^{a}	81.76	9.84^{a}
	5 000	3.76^{a}	7.07	6.35^{a}	6.76	17.53^{b}	0.27^{a}	80.82	9.94^{a}
P 值 *P*-value	钙 Ca	0.635	0.731	0.030	0.619	0.225	0.508	0.646	<0.01
	维生素 D_3 Vitamin D_3	<0.01	0.898	<0.01	0.41	0.044	0.049	0.576	<0.01
	钙×维生素 D_3 Ca×vitamin D_3	0.534	0.094	0.438	0.358	0.055	0.975	0.286	0.605

2.3 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡胫骨质量的影响

由表 4 可知，不同钙水平添加维生素 D_3 对蛋鸡胫骨强度有极显著影响（$P<0.01$），对胫骨钙和磷含量无显著影响（$P>0.05$）。从维生素 D_3 添加水平来看，与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组胫骨强度极显著升高（$P<0.01$）；添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组相比未添加维生素 D_3 组胫骨钙含量显著升高（$P<0.05$）。从饲粮钙水平来看，4.0%钙比 3.0%和 3.5%钙显著提高了胫骨强度（$P<0.05$）；随着饲粮钙水平的升高，胫骨钙含量有升高的趋势，但差异不显著（$P>0.05$）。饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平互作效应对胫骨钙含量和胫骨强度无显著影响（$P>0.05$），对胫骨磷含量有显著影响（$P<0.05$）。

表 4 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡胫骨质量的影响

Table 4 Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D_3 on tibial quality of laying hens

钙水平 Calcium levels/%	维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	钙含量 Calcium content/%	磷含量 Phosphorus content/%	强度 Strength /kgf
3.0	0	22.05	5.078	15.27[a]
	2 500	22.26	5.083	17.27[ab]
	5 000	22.51	5.223	17.11[ab]
3.5	0	22.15	5.218	15.86[ab]
	2 500	23.06	5.015	17.57[ab]
	5 000	23.52	5.042	17.72[ab]
4.0	0	22.35	5.042	15.44[ab]
	2 500	23.22	5.165	22.51[c]
	5 000	23.32	5.08	19.38[bc]
SEM		0.15	0.23	0.47
P 值 *P*-value		0.119	0.221	<0.01
钙水平 Calcium levels/%	3.0	22.27	5.13	16.55[a]
	3.5	22.91	5.10	17.05[a]
	4.0	22.96	5.10	19.00[b]
维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental	0	22.18[a]	5.11	15.42[a]
	2 500	22.84[ab]	5.09	19.12[b]
	5 000	23.11[b]	5.12	18.07[b]

levels/（IU/kg）				
	钙 Ca	0.101	0.755	0.032
P 值 *P*-value	维生素 D_3 Vitamin D_3	0.030	0.853	<0.01
	钙×维生素 D_3 Ca×vitamin D_3	0.842	0.049	0.207

2.4 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡血浆钙磷代谢的影响

由表 5 可知，饲粮钙水平和维生素 D_3 添加水平互作效应对血浆 ALP 活性、钙和磷含量无显著影响（$P>0.05$）。从维生素 D_3 添加水平来看，与未添加维生素 D_3 组相比，添加维生素 D_3 组血浆 ALP 活性极显著降低（$P<0.01$），且添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组血浆 ALP 活性最低；添加维生素 D_3 组血浆钙、磷含量极显著升高（$P<0.01$），且添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组二者含量最高。从饲粮钙水平来看，4.0%钙组比 3.0%钙组血浆 ALP 活性显著降低（$P<0.05$）；随着饲粮钙水平的升高，血浆钙、磷含量无显著变化（$P>0.05$）。

表 5 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡血浆钙磷代谢的影响

Table 5 Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D_3 on serum calcium and phosphorus metabolism of laying hens

钙水平 Calcium levels/%	维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	碱性磷酸酶 ALP/（IU/L）	钙含量 Calcium content/（mmol/L）	磷含量 Phosphorus content/（mmol/L）
	0	540.00^{bc}	3.49^{a}	0.81^{ab}
3.0	2 500	461.33^{ab}	6.38^{b}	2.90^{d}
	5 000	406.50^{ab}	6.21^{b}	2.39^{cd}
	0	751.83^{c}	2.00^{a}	0.35^{a}
3.5	2 500	466.33^{ab}	5.39^{b}	1.73^{bc}
	5 000	337.83^{ab}	7.01^{b}	3.09^{d}
	0	477.00^{b}	2.84^{a}	1.11^{ab}
4.0	2 500	206.33^{a}	6.58^{b}	2.63^{cd}
	5 000	344.83^{ab}	7.35^{b}	2.53^{cd}
SEM		32.17	0.33	0.17
P 值 *P*-value		<0.01	<0.01	<0.01
钙水平 Calcium	3.0	469.28^{b}	5.36	2.03
levels/%	3.5	518.67^{ab}	4.80	1.72

	4.0	342.72^{a}	5.59	2.09
维生素 D_3 添加水平 Vitamin D_3 supplemental levels/（IU/kg）	0	589.61^{b}	2.78^{a}	0.75^{a}
	2 500	378.00^{a}	6.12^{b}	2.42^{b}
	5 000	363.06^{a}	6.86^{b}	2.67^{b}
P 值 *P*-value	钙 Ca	0.035	0.329	0.390
	维生素 D_3 Vitamin D_3	<0.01	<0.01	<0.01
	钙×维生素 D_3 Ca×vitamin D_3	0.241	0.454	0.080

3 讨 论

3.1 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡生产性能的影响

钙在蛋鸡体内的调节是一个复杂而严密的过程，受到采食量与多种激素等其他因素制约和影响，血液中调节钙代谢的激素都通过肠、骨与肾发挥作用[3]。大量的研究证明了饲粮中的钙含量将直接影响蛋鸡的生产性能，当钙含量不足时，导致蛋壳中钙沉积减少，软壳蛋、破壳蛋数增加[4]。本试验结果表明，不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡的平均日采食量、料蛋比、产蛋率、破蛋率和软壳蛋率有极显著的影响；随着饲粮钙水平的不断提高，鸡蛋的平均蛋重在增加，脏蛋率在降低，只是均未能达到显著。这与前人研究报道一致。马霞等[5]研究表明，低钙饲粮可引起海兰褐蛋鸡生产性能降低。本试验结果表明，饲粮钙水平从 3.5%降低到 3.0%对蛋鸡生产性能无显著影响。这与前人结果不一致，原因可能是钙降低的程度较小、钙的摄入量不同，饲喂期不同以及蛋鸡所处的产蛋阶段不同，从而未达到影响生产性能的水平[6]。然而，饲粮中钙含量过高又将引起蛋鸡的严重腹泻，甚至引发痛风[7]，从而使得蛋鸡生产性能降低。有研究报道，许多代谢性疾病，如内脏性痛风、多尿和结石及生产性能低下又都与饲粮中钙过量有关[3,8]。另一方面，维生素 D_3 的适宜水平对蛋鸡的生产性能有重要的影响，其原因是适宜水平的维生素 D_3 可以促进钙在肠黏膜细胞中形成钙结合蛋白，进一步促进钙的主动吸收，从而降低软壳蛋和破蛋比例[9]。杨涛等[10]研究表明蛋鸡饲粮适宜维生素 D_3 水平应控制在 900~2 700 IU/kg。本试验研究显示，未添加维生素 D_3 组在正式试验的第 4 周，蛋鸡表现出坐卧不起，采食量下降的现象；在第 6 周蛋鸡出现停产的趋势。而添加维生素 D_3 组相比未添加组在蛋鸡平均日采食量、产蛋率上呈极显著升高；在料蛋比、破蛋率、软壳蛋率上呈极显著降低，结果与前人研究一致。

3.2 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡蛋品质的影响

饲粮中钙营养成分对钙参与蛋壳形成及蛋壳质量有直接关联。高喜良[11]研究发现低钙饲粮会导致鸡蛋品质降低，但与钙降低的程度有关。本试验结果表明，不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对鸡蛋的蛋壳强度、蛋黄颜色、蛋白高度、蛋壳厚度和哈夫单位无显著影响，对蛋壳重、蛋黄重和蛋壳比重有显著的影响；当饲粮钙水平从 3.5%降低到 3.0%时，蛋品质没有显著影响。这与前人的研究结果不一致。可能原因是降钙程度不够，饲养周期过短；随着钙含量的升高，蛋壳强度呈现升高的趋势，但未达到显著，当钙水平为最高的 4.0%时，蛋壳重、蛋壳厚度和蛋壳比重均达到最大值。高英卫[12]研究发现，蛋鸡饲粮中维生素 D_3 的水平为 1 500 IU/kg 较为合适，过高或过低的维生素 D_3 水平都将影响钙的吸收和利用。Navickis 等[9]研究发现适宜的维生素 D_3 可以增加蛋壳钙含量，增加蛋壳的厚度。本试验结果表明，添加维生素 D_3 组相比未添加组在蛋壳强度、蛋壳重和蛋壳比重上呈极显著升高，蛋壳厚度显著提高，蛋黄重显著降低，这与前人研究结果一致。Frost 等[13]研究发现，36 周龄的海兰褐壳蛋鸡中添加维生素 D_3 与添加 1,25－二羟基维生素 D_3[1,25-$(OH)_2D_3$]相比，高剂量添加维生素 D_3 和 1，25-$(OH)_2D_3$ 对蛋品质无显著影响。本试验结果发现，添加 2 500 IU/kg 维生素 D_3 组与添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组在蛋品质上无显著差异，说明了可能是由于较高剂量的维生素 D_3（2 500 IU/kg）已经可以充分满足机体的最高需要量。

3.3　不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡胫骨质量的影响

大量研究报道指出，骨骼是动物机体存储钙的主要场所，在蛋鸡上表现得尤为重要，钙作为蛋鸡生产中含量最高矿物质元素，钙的长期缺乏和过量都将导致机体各种疾病[14]。孔路欣[15]发现，给蛋鸡长期饲喂低钙饲粮，很容易导致钙利用率降低，产蛋鸡会动用组织中的钙来满足蛋壳对钙的需求，从而导致机体骨骼钙大量流失，骨骼变轻、变脆，进一步引起产蛋鸡骨折、采食量下降、生产性能降低。Roland 等[16]研究证实，低钙饲粮会使蛋鸡钙沉积受到不良影响。当饲粮钙水平为 2.5%时，蛋鸡胫骨骨密度显著降低[17]。高钙水平饲粮容易造成钙、磷比例失调，引起胫骨性能降低[18]。本试验结果得到，不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对胫骨强度有极显著影响，对胫骨钙和磷含量无显著影响。4.0%钙组蛋鸡胫骨强度显著高于 3.0%和 3.5%钙组，随着钙水平的提高，胫骨钙含量呈现升高的趋势，但未达到显著。这可能是由于钙升高或者降低的程度不够、试验周期过短导致。此外，Driver 等[19]发现，给种鸡长期饲喂 2 000 IU/kg 的维生素 D_3 能有效降低其腿病发生率。本试验结果表明，添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组相比未添加组在胫骨钙含量上显著升高，添加维生素 D_3 组相比未添加组在胫骨强度上呈极显著升高，而添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组相比 2 500 IU/kg 维生素 D_3 组在胫骨强度上反而有降低的趋势。有研究报道指出，一定范围内随着维生素 D_3 水平升

高，蛋鸡胫骨强度会随之增加[20]，本试验结果与该研究结果一致。但是，维生素 D_3 添加水平在 2 500 和 5 000 IU/kg 时，胫骨强度以及胫骨钙含量差异不显著。这可能是由于过高维生素 D_3 水平的饲粮导致蛋鸡对其吸收减少，从而对钙的代谢沉积趋于稳定。这与杨涛等[10]发现的适宜水平维生素 D_3 可以提高蛋鸡对钙的吸收与沉积能力，从而提高胫骨质量的研究结果一致。

3.4 不同钙水平饲粮添加维生素 D_3 对蛋鸡血浆钙磷代谢的影响

丁保安等[21]研究表明低钙饲粮会导致血清 ALP 活性提高，血浆钙和磷含量降低，影响成骨作用和骨骼代谢，从而影响蛋鸡的骨骼正常发育。郭小权等[22]指出，高钙饲粮会引起蛋鸡痛风、诱发高钙血症，长期使血清钙含量过高，导致机体钙超载，钙离子激活依赖蛋白酶增多，从而使尿酸含量增加。本研究发现，4.0%钙相对 3.0%钙在血浆 ALP 上显著降低；随着饲粮钙水平的升高血浆钙和磷含量变化不显著，但是在 4%钙时，血浆中二者含量最高。这说明在蛋鸡生产后期可以适当提高钙含量，一方面来满足蛋鸡的产蛋对钙的需求，另一方面可以补充产蛋后期蛋鸡机体钙的流失；但是钙含量过高可能会导致蛋鸡钙磷比例失调，从而引起蛋鸡自身代谢疾病，影响生产性能。这与前人研究结果一致。从维生素 D_3 添加水平分析，添加维生素 D_3 组相比未添加组在血浆 ALP 活性上呈极显著降低，且在添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 时血浆 ALP 活性最低；添加维生素 D_3 组相比未添加组在血浆钙和磷含量上呈极显著升高，同样在添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 量时血浆中二者含量最高。郭晓宇等[23]研究发现维生素 D_3 水平在 500～5 000 IU/kg，随着饲粮维生素 D_3 水平的升高，肉鸡血清钙结合蛋白浓度呈不同程度的升高趋势；其中，以 5 000 IU/kg 维生素 D_3 组较高。张淑云[24]研究发现，实际生产中在满足生长肉鸡钙基本需要量的同时，适当提高维生素 D_3 添加水平对提高生长肉鸡生产性能具有重要的作用。本试验也得到相似的结论，针对后期产蛋鸡，适当提高维生素 D_3 添加水平能够促进蛋鸡生产性能。

4 结　论

① 维生素 D_3 缺乏对蛋鸡生产性能产生不利影响，甚至引起产蛋后期蛋鸡停产。

② 针对产蛋后期蛋鸡的体况，可以适当提高饲粮钙水平；本试验条件下，饲粮钙水平为 4.0%时对生产性能没有影响，但显著提高胫骨强度。

③ 本试验条件下，饲粮添加 2 500 IU/kg 维生素 D_3 相比添加 5 000 IU/kg 维生素 D_3 对蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢影响均无显著差异。饲粮添加 2 500 IU/kg 维生素 D_3 既能满足产蛋后期蛋鸡对维生素 D_3 的需求量，同时又不造成资源的浪费，节约成本。

参考文献：

[1] NRC.Nutrient requirements of poultry[M].9th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1994.

[2] 中华人民共和国农业部.NY/T 33–2004 鸡饲养标准[S].北京:中国农业出版社,2004.

[3] 马利芹,吕文亭,杨永红,等.依普黄酮对笼养蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J].中国家禽,2011,33(22):20–23.

[4] 杨凤.动物营养学[M].北京:农业出版社,1993.

[5] 马霞,朱连勤,朱风华,等.低钙日粮对海兰褐蛋种鸡血浆指标的影响[J].饲料研究,2007(5):24–26.

[6] 康乐,李东东,穆雅东,等.不同钙水平饲粮添加低聚木糖对蛋鸡生产性能蛋鸡生产性能、血液生化指标、钙磷表观利用率及骨骼质量的影响[J].中国家禽,2017,39(7):29–35.

[7] GUO X,HUANG P K,TANG J.Clinicopathology of gout in growing layers induced by high calcium and high protein diets[J].British Poultry Science,2005,46(5):641–646.

[8] WIDEMAN R F,Jr.,CLOSSER J A,ROUSH W B,et al.Urolithiasis in pullets and laying hens:role of dietary calcium and phosphorus[J].Poultry Science,1985,64(12):2300–2307.

[9] NAVICKIS R J,KATZENELLENBOGEN B S,NALBANDOV A V.Effects of the sex steroid hormones and vitamin D_3 on calcium-binding proteins in the chick shell gland[J].Biology of Reproduction,1979,21(5):1153–1162.

[10] 杨涛,甘悦宁,宋志芳,等.不同来源和水平的维生素 D_3 对蛋鸡生产性能、蛋品质和胫骨质量的影响[J].动物营养学报,2014,26(3):659–666.

[11] 高喜良.不同钙水平对蛋鸡蛋壳品质的影响[J].山西农业科学,1998,26(2):76–79.

[12] 高英卫.影响蛋壳质量的因素和提高对策[J].中国家禽,2006,28(6):44–45.

[13] FROST T J,ROLAND D A,Sr.,UNTAWALE G G.Influence of vitamin D_3,1α-hydroxyvitamin D_3,and 1,25-dihydroxyvitamin D_3 on eggshell quality,tibia strength,and various production parameters in commercial laying hens[J].Poultry Science,1990,69(11):2008–2016.

[14] 计成.动物营养学[M].北京:高等教育出版社,2008.

[15] 孔路欣.不同增钙模式对蛋鸡生产性能、胫骨质量和蛋品质的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2015.

[16] ROLAND D A,Sr.,SLOAN D R,WILSON H R,et al.Influence of dietary calcium deficiency

on yolk and serum calcium,yolk and organ weights and other selected production criteria of the pullet[J].Poultry Science,1973,52(6):2220–2225.

[17] 俞路,王雅倩,林显华,等.轻度缺钙对笼养蛋鸡内分泌及骨代谢的影响[J].家禽科学,2008(7):6–9.

[18] 王晋晋,王金荣,付佐龙,等.饲料中钙、磷水平对 4～6 周龄肉鸡骨骼生长的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(7):37–41.

[19] DRIVER J P,ATENCIO A,PESTI G M,et al.The effect of maternal dietary vitamin D_3 supplementation on performance and tibial dyschondroplasia of broiler chicks[J].Poultry Science,2006,85(1):39–47.

[20] MATTILA P,VALAJA J,ROSSOW L,et al.Effect of vitamin D_2- and D_3-enriched diets on egg vitamin D content,production,and bird condition during an entire production period[J].Poultry Science,2004,83(3):433–440.

[21] 丁保安,罗绪刚,呙于明.饲粮钙磷水平对蛋鸡血清生化指标和血浆矿物质含量的影响[J].中国饲料,2002(14):9–11.

[22] 郭小权,黄克和,雷鹏,等.高钙日粮对青年蛋鸡血清电解质动态变化的影响[J].天津农业科学,2011,17(1):96–99.

[23] 郭晓宇,闫素梅,史彬林,等.维生素 A、D 对肉鸡血清钙结合蛋白浓度与胫骨和十二指肠组织中钙结合蛋白 mRNA 表达的影响[J].动物营养学报,2010,22(3):571–578.

[24] 张淑云.钙和维生素 D 对肉鸡免疫和抗氧化功能的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2011.

Effects of Different Calcium Level Diets Supplemented with Vitamin D_3 on Performance, Egg Quality, Tibia Quality and Plasma Calcium and Phosphorus Metabolism of Laying Hens in Late Laying Period

KANG Le MU Yadong ZHANG Keying WANG Jianping BAI Shiping ZENG Qiufeng PENG Huanwei SU Zhuowei XUAN Yue DING Xuemei*

(*Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of China Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu* 611130, *China*)

Abstract: This experiment was to study the effects of different calcium level diets supplemented

with vitamin D_3 on performance, egg quality, tibia quality and plasma calcium and phosphorus metabolism of laying hens in late laying period. A 3×3 factorial design was adopted in this experiment to design 3 calcium levels （3.0%, 3.5% and 4.0%） and 3 vitamin D_3 supplemental levels （0, 2 500 and 5 000 IU/kg）. Eight hundred and ten 60-week-old healthy Lohmann laying hens were randomly assigned to 9 groups with 6 replicates per group and 15 hens per replicate. The corn-soybean meal diet was used in this experiment. The pre-trial period was 1 week and the official trial period was 6 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the group without adding vitamin D_3, the average daily feed intake and laying rate of hens in the vitamin D_3 supplemental group were extremely significantly increased（$P<0.01$）, and the ratio of feed to egg, break egg rate and soft shell egg rate were extremely significantly decreased （$P<0.01$）. With the increasing of dietary calcium level and vitamin D_3 supplemental level, the average weight of egg was increased, and the rate of dirty egg was decreased, but the difference was not significant ($P>0.05$). 2) Compared with the group without adding vitamin D_3, the eggshell strength, eggshell weight and eggshell proportion in the vitamin D_3 supplemental group were extremely significantly increased （$P<0.01$）, the eggshell thickness was significantly increased ($P<0.05$), and the yolk weight was significantly reduced ($P<0.05$). With the increasing of dietary calcium level, the eggshell strength showed an increasing trend, but it was not significant ($P<0.05$). 3) Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D_3 on tibia strength were extremely significant ($P<0.01$). Compared with the group without adding vitamin D_3, the tibia strength in the vitamin D_3 supplemental group was extremely significantly increased ($P<0.01$). With the increasing of dietary calcium level, the calcium content in the tibia showed an increasing trend, but it was not significant ($P<0.05$). When the dietary calcium level was 4.0%, the tibia strength was significantly higher than those when the dietary calcium levels were 3.0% and 3.5% ($P<0.05$). 4) Compared with the group without adding vitamin D_3, the plasma alkaline phosphatase activity of hens in the vitamin D_3 supplemental group was extremely significantly decreased （$P<0.01$）, and the contents of plasma calcium and phosphorus were extremely significantly increased （$P<0.01$）. With the increasing of dietary calcium level, there was no significant change in contents of plasma calcium and phosphorus ($P>0.05$). Compared with the 3.0% calcium group, the plasma alkaline phosphatase activity in the 4.0% calcium group was significantly decreased ($P<0.05$). In conclusion, appropriately increasing dietary calcium level is beneficial to the

performance of laying hens in late laying period, but deficiency of vitamin D_3 reduces performance, even causes production shutdown. Supplementation of 2 500 IU/kg vitamin D_3 level can meet the requirement of vitamin D_3 in the later stage of laying hens without causing waste of resources and saving cost.

Key words: vitamin D_3; calcium level; laying hens; performance; egg quality; tibia quality; plasma calcium and phosphorus

i

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: dingxuemei0306@163.com (责任编辑 田艳明)